

วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ปีที่ 12 ฉบับที่ 24 กรกฎาคม-ธันวาคม 2563

## ขั้นตอนวิธีสำหรับการสร้างสมมติฐานการวิจัยแบบมีทิศทาง โดยใช้เทคนิคการค้นหาเส้นทางในแนวลึก

### AN ALGORITHM FOR GENERATING DIRECTIONAL RESEARCH HYPOTHESIS USING DEPTH-FIRST SEARCH TECHNIQUE

สุภาวดี หิรัญพงศ์สิน\* จิรายุทธ สิงห์งาม

*Supawadee Hiranpongsin\*, Jirayuth Sing-Ngam*

ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติและคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

*Department of Mathematics Statistics and Computer, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University.*

**\*Corresponding author, e-mail:** [supawadee.h@ubu.ac.th](mailto:supawadee.h@ubu.ac.th)

**Received:** 17 June 2019; **Revised:** 4 September 2019; **Accepted:** 10 September 2019

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบขั้นตอนวิธีสำหรับการสร้างสมมติฐานการวิจัยแบบมีทิศทาง โดยใช้เทคนิคการค้นหาเส้นทางในแนวลึก (Algorithm for Generating Directional Research Hypothesis Using Depth-First Search Technique) ที่เรียกชื่อย่อว่า GHyp ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นด้วยภาษาจาวาสคริปต์ และเพื่อประเมินคุณภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้น โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัย 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ศึกษาแนวคิด หลักการ และวิธีการของการคิดเชิงระบบ 2) รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล 3) วิเคราะห์และออกแบบขั้นตอนวิธี 4) พัฒนาและทดสอบขั้นตอนวิธี และ 5) ประเมินคุณภาพของขั้นตอนวิธี ผลการพัฒนาและทดสอบขั้นตอนวิธีที่นำเสนอพบว่า ขั้นตอนวิธี GHyp สามารถแสดงสมมติฐานแบบมีทิศทางของทุก ๆ แผนผังเหตุ-ผล ได้ถูกต้องตามผลลัพธ์ที่คาดหวัง นอกจากนี้ผลการประเมินคุณภาพของขั้นตอนวิธี GHyp โดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ค่าดัชนีความสอดคล้องของการวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อขั้นตอนวิธี GHyp ทุกรายการ มีค่าเท่ากับ 0.97 สรุปได้ว่าขั้นตอนวิธี GHyp ใช้ได้ สามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบเครื่องมือสนับสนุนการคิดเชิงระบบสำหรับสร้างสมมติฐานการวิจัยแบบมีทิศทางเพื่อใช้เป็นกรอบการทำวิจัยที่ชัดเจน เป็นผลให้ผู้มีทักษะการคิดอย่างมีระบบและมีทักษะการสร้างสมมติฐานอย่างมีเหตุมีผลที่ดียิ่งขึ้น

**คำสำคัญ:** สมมติฐานการวิจัยแบบมีทิศทาง การคิดเชิงระบบ การค้นหาเส้นทางในแนวลึก

#### Abstract

The objectives of this research were to develop an algorithm for generating directional research hypothesis using depth-first search technique, named as GHyp which was developed by JavaScript language. This research consisted of five processes that were 1) studied and reviewed the concept of system thinking and related works 2) collected and analyzed information 3) analyzed and designed GHyp 4) developed and tested GHyp, and 5) evaluated the quality of the proposed algorithm. The results of this

research found that the GHyp algorithm could correctly generate of all directional research hypothesis according to the expected results. Moreover, the quality of GHyp algorithm assessed by experts found that the Index of the item-objective congruence of expert opinion analysis on every GHyp algorithms was equal to 0.97. Conclusively, GHyp could be practical and could be used as the tool for generating directional research hypothesis, including used as the obvious conceptual research framework. As a result, users had more systematic thinking skills and more hypothesis-building skills.

**Keywords:** Directional research hypothesis, System thinking, Depth-first search

## บทนำ

ในการทำวิจัย การกำหนดปัญหาการวิจัยเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาให้รัดกุมเพื่อให้สามารถทำการวิจัยเรื่องนั้นให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี สำหรับผู้เริ่มต้นทำวิจัยใหม่ ๆ อาจประสบปัญหาคือ ไม่รู้ว่าจะทำวิจัยเรื่องอะไร หรือไม่มีเรื่องที่จะทำวิจัย เนื่องจากคิดว่าปัญหานี้มีคนทำมาแล้วทั้งนั้น ทำให้รู้สึกว่าการหาเรื่องทำวิจัยนั้นเป็นเรื่องยาก แต่แท้จริงแล้วมีปัญหานั้นทำการศึกษาอยู่มากมาย เพราะเมื่อเวลาและสถานการณ์เปลี่ยนไป ผู้ทำวิจัยสามารถนำมาศึกษาใหม่ได้เพื่อให้ความทันสมัยอยู่เสมอ เมื่อผู้ทำวิจัยสามารถกำหนดปัญหาการวิจัยได้แล้ว ผู้ทำวิจัยจะศึกษาว่าอะไรเป็นตัวแปรต้น (หรือตัวแปรอิสระ) อะไรเป็นตัวแปรตาม และอะไรเป็นตัวแปรควบคุม จากนั้นจึงตั้งสมมติฐานการวิจัยเพื่อกำหนดทิศทางของการวิจัยให้มีแนวทางในการปฏิบัติที่ชัดเจนในการหาข้อสรุปของปัญหานั้น ๆ [1-2]

สมมติฐาน (Hypothesis) คือข้อความที่ระบุความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Variables) หรือแนวคิด (Concepts) ที่ผู้ทำวิจัยต้องการจะทดสอบหรือพิสูจน์ตามขั้นตอนการวิจัยอย่างเป็นลำดับว่าเป็นความจริงหรือไม่ [3] โดยใช้สมมติฐานเป็นกรอบในการค้นหาคำตอบ ทั้งนี้ผลของการพิสูจน์หรือทดลองอาจยืนยันสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าถูกต้อง หรืออาจพิสูจน์ได้ว่าสมมติฐานนั้นไม่เป็นจริง การเขียนสมมติฐานที่ดีต้องระบุความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม โดยกำหนดให้เห็นทิศทางของความสัมพันธ์ว่าเป็นไปในทางบวกหรือทางลบ ซึ่งเป็นสมมติฐานประเภทหนึ่งที่เรียกว่า สมมติฐานแบบมีทิศทาง (Directional Hypothesis) [1] อย่างไรก็ตามปัญหาอีกประการหนึ่งสำหรับผู้เริ่มต้นทำวิจัย คือ ปัญหาเกี่ยวกับจำนวนข้อของสมมติฐาน ว่าการทำวิจัยแต่ละเรื่อง ผู้ทำวิจัยสามารถตั้งสมมติฐานได้ข้อเดียวหรือหลายข้อได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของกรอบแนวคิดหรือวัตถุประสงค์ของการวิจัย หรือของสมมติฐานเอง ทำให้เป็นงานท้าทายงานหนึ่งสำหรับผู้เริ่มต้นทำวิจัย โดยปกติงานวิจัยจะมีจุดสนใจอยู่เพียงจุดเดียวหรือสองจุด สมมติฐานจึงมีเพียงสมมติฐานเพียงข้อเดียวหรือสองข้อ ส่วนสมมติฐานย่อยจะมีหรือไม่ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้ทำวิจัย [3]

อนึ่ง การเขียนสมมติฐานที่ดีต้องใช้ทักษะคิดเชิงเหตุและผลซึ่งเป็นทักษะสำคัญในการคิดเชิงระบบ (System Thinking) ที่ทำให้ผู้ทำวิจัยสามารถคิดหรือเห็นภาพรวมอย่างเป็นระบบ เห็นความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ทั้งหมดได้อย่างมีเหตุมีผล และเข้าใจว่าปัญหาต่าง ๆ เชื่อมโยงถึงกัน เมื่อเข้าใจเช่นนี้แล้ว ผู้ทำวิจัยจะสามารถแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด [4-9] ทั้งนี้การคิดเชิงระบบต้องได้รับการฝึกฝนและพัฒนาอย่างต่อเนื่องและเป็นรูปธรรม จากการศึกษาคณะผู้วิจัยพบว่า ยังไม่มีงานวิจัยที่น่าเสนอเครื่องมือเพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบที่อำนวยความสะดวกในการสร้างสมมติฐานการวิจัยแบบมีทิศทางซึ่งเป็นการสนับสนุนการทำวิจัยให้มีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น งานวิจัยส่วนใหญ่เน้นการส่งเสริมและพัฒนาการคิดเชิงระบบโดยใช้ทักษะหรือความชำนาญส่วนบุคคล เช่น ด้านการศึกษา [10-12] ซึ่งนำเสนอแนวทางในรูปแบบ

การจัดการเรียนการสอน หรือด้านการจัดการองค์กร [13] ซึ่งนำเสนอกรณีศึกษาการแก้ไขปัญหาขององค์กร โดยงานวิจัย [10-13] ผู้ทำวิจัยจะวิเคราะห์ปัญหาแล้วเขียนแผนภาพวงจรปัญหา จากนั้นจะวางแผนแก้ปัญหา โดยตั้งสมมติฐานจากวงจรปัญหานั้นด้วยตัวเอง ซึ่งหากวงจรปัญหามีความซับซ้อนมากและผู้ทำวิจัยไม่ชำนาญมากพออาจส่งผลต่อการนำไปสู่การตัดสินใจแก้ปัญหาที่ผิดพลาดได้ อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ การพัฒนาทักษะคิดเชิงเหตุและผลสามารถแทนได้ด้วยการเขียนความเชื่อมโยง “เหตุ” และ “ผล” (Cause and Effect) [8-9] ในที่นี้เรียกว่า “แผนผังเหตุ-ผล” การเขียนแผนผังเหตุ-ผลหนึ่ง ๆ ซึ่งประกอบด้วย ตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุม (ถ้ามี) และเส้นเชื่อมโยงอีกจำนวนหนึ่งที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านั้น อาจมีความสัมพันธ์ได้มากกว่า 1 ความสัมพันธ์ และแต่ละความสัมพันธ์จะประกอบด้วยตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป หรืออาจกล่าวได้ว่ามีสมมติฐานได้หลายข้อภายในแผนผังเหตุ-ผลนั้น ดังนั้น เพื่อให้ได้มาซึ่งเส้นทางของสมมติฐานที่ถูกต้อง แม่นยำ ตรงกับความสัมพันธ์ที่ผู้ทำวิจัยได้สร้างไว้นั้น การมีเทคนิคช่วยในการวิเคราะห์แผนผังเหตุ-ผลจึงเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง เนื่องจากแผนผังเหตุ-ผลเป็นรูปแบบของกราฟ โดยตัวแปรต่าง ๆ แทน โหนด (Node) และเส้นเชื่อมระหว่างตัวแปร แทน เส้นเชื่อมโยง (Edge) ในกราฟ จะเห็นได้ว่าภายในกราฟมีเส้นทาง (Path) ได้มากมาย ด้วยเหตุนี้ เทคนิคที่ใช้จึงต้องเป็นเทคนิคการค้นหาเส้นทางซึ่งเป็นต้นไม้ในกราฟที่เชื่อมโหนดทุกโหนดเข้าด้วยกันที่เรียกว่า ต้นไม้แบบทอดข้าม (Spanning Tree) [14] และเลือกใช้เทคนิคการค้นหาเส้นทางแบบง่าย ๆ โดยทำการค้นหาแต่ละเส้นทางที่เป็นไปได้ จากโหนดเริ่มต้นที่กำหนดไว้ไปจนกระทั่งถึงโหนดที่ลึกที่สุดที่สามารถไปถึงได้ (ไม่ต้องการเส้นทางที่สั้นที่สุด) งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เทคนิคการค้นหาเส้นทางในแนวลึก (Depth-First Search: DFS) [14] ซึ่งเป็นเทคนิคที่สอดคล้องกับความต้องการค้นหาเส้นทางดังกล่าวข้างต้น อีกทั้งใช้หน่วยความจำน้อย เนื่องจากไม่ต้องกระจายการเก็บข้อมูลของโหนดมาก เก็บเฉพาะโหนดในเส้นทางปัจจุบันเท่านั้น และเมื่อได้เส้นทางของสมมติฐานที่เป็นไปได้ทั้งหมดแล้ว จะทำการตั้งสมมติฐานจากเส้นทางเหล่านั้นต่อไป

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้นำเสนอขั้นตอนวิธีสำหรับการสร้างสมมติฐานการวิจัยแบบมีทิศทาง โดยใช้เทคนิคการค้นหาเส้นทางในแนวลึก (Algorithm for Generating Directional Research Hypothesis Using Depth-First Search Technique) ที่เรียกชื่อย่อว่า GHyp ซึ่งเป็นต้นแบบขั้นตอนวิธีสำหรับสร้างสมมติฐานการวิจัยแบบมีทิศทางได้อย่างมีเหตุมีผลตามแนวคิดของการคิดเชิงระบบ ที่สามารถนำมาเป็นกรอบการทำวิจัยที่ชัดเจน และมีความถูกต้องและตรงกับความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในแผนผังเหตุ-ผล ดังนั้น ขั้นตอนวิธี GHyp ที่นำเสนอจะอำนวยความสะดวกในการสร้างสมมติฐานการวิจัยแบบมีทิศทาง ทั้งนี้ผู้เริ่มต้นทำวิจัยหรือผู้ใช้ที่ต้องการพัฒนาทักษะในการคิดวิเคราะห์ปัญหาอย่างเป็นระบบ สามารถนำสมมติฐานการวิจัยที่ได้ไปออกแบบการวิจัย และทำการทดลองเพื่อหาคำตอบให้กับสมมติฐานการวิจัยที่สนใจต่อไป

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาต้นแบบขั้นตอนวิธีสำหรับการสร้างสมมติฐานการวิจัยแบบมีทิศทาง โดยใช้เทคนิคการค้นหาเส้นทางในแนวลึก ที่ใช้ได้กับข้อมูลนำเข้าที่เป็นแผนผังเหตุ-ผล เท่านั้น
2. เพื่อประเมินคุณภาพของขั้นตอนวิธีสำหรับการตั้งสมมติฐานการวิจัยแบบมีทิศทาง โดยใช้เทคนิคการค้นหาเส้นทางในแนวลึก

## วิธีดำเนินการวิจัย

### ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาแนวคิด หลักการ และวิธีการของการคิดเชิงระบบ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการพัฒนาขั้นตอนวิธีสำหรับการสร้างสมมติฐานการวิจัยแบบมีทิศทางอย่างมีเหตุมีผล

2. พัฒนาด้านแบบขั้นตอนวิธีสำหรับการสร้างสมมติฐานการวิจัยแบบมีทิศทาง โดยใช้เทคนิคการค้นหาเส้นทางในแนวลึก เพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบ อำนวยความสะดวกในการสร้างสมมติฐานการวิจัยแบบมีทิศทาง และสนับสนุนการทำวิจัยให้มีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

คณะผู้วิจัยได้กำหนดวิธีดำเนินการวิจัยเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ศึกษาแนวคิด หลักการ และวิธีการของการคิดเชิงระบบ 2) รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล 3) วิเคราะห์และออกแบบขั้นตอนวิธี GHyp 4) พัฒนาและทดสอบขั้นตอนวิธี GHyp และ 5) ประเมินคุณภาพของขั้นตอนวิธี GHyp รายละเอียดวิธีดำเนินการวิจัยมีดังนี้

### 1. ศึกษาแนวคิด หลักการ และวิธีการของการคิดเชิงระบบ

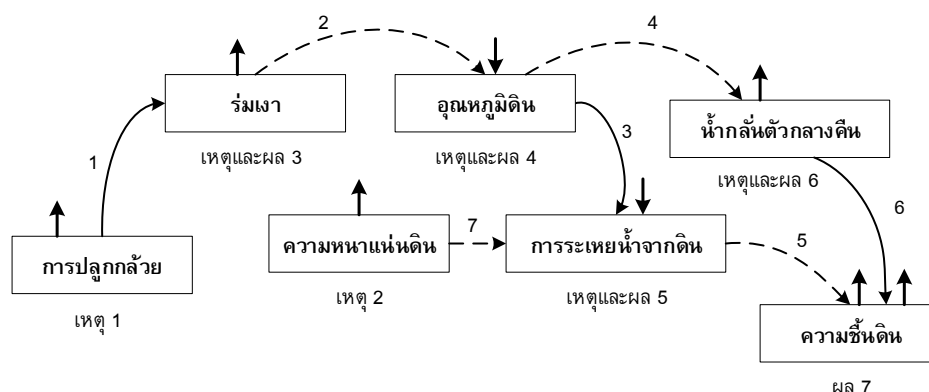
จากการศึกษาแนวคิดของการคิดเชิงระบบ พบว่าทักษะการคิดอย่างเป็นระบบเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการเข้าใจสภาพการณ์ที่เป็นไปในโลกปัจจุบัน การคิดเชิงระบบเป็นพื้นฐานสำคัญของการทำวิจัยซึ่งสามารถพัฒนาทักษะนี้ได้จากการฝึกปฏิบัติ [5] ในงานวิจัยนี้ใช้ “แผนผังเหตุ-ผล” ซึ่งเป็นแผนผังแสดงเหตุและผลอย่างง่ายตามแนวคิดของการคิดเชิงระบบที่ถูกนำเสนอไว้ใน [8-9] ที่ว่า ทุก ๆ “ผล” ย่อมเกิดจาก “เหตุ” ในบางกรณี 1 ผลอาจเกิดจากหลายเหตุ และในทำนองเดียวกัน 1 เหตุอาจทำให้เกิดหลายผลได้ นอกจากนี้เหตุ-ผลอาจต่อเนื่องกันได้ นั่นคือ เหตุ ย่อมมีเหตุของเหตุ หรือ ผล ย่อมมีผลของผล ซึ่งทำให้ เหตุ อาจเป็นผลได้ หรือ ผล อาจเป็นเหตุได้ การฝึกวิเคราะห์เชื่อมโยงความเป็นเหตุเป็นผล เป็นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปร แล้วนำมาเขียนเป็นแผนผังเหตุ-ผล ตามหลักการดังนี้ 1) เหตุ (ทางลูกศร) คือตัวแปรต้น 2) ผล (หัวลูกศร) คือตัวแปรตาม และ 3) เส้นเชื่อมโยง คือความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปร และเป็นเส้นเชื่อมโยงที่มีลูกศรทางเดียว แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

“เส้นทึบ” (————→) หมายถึง เหตุสัมพันธ์เชิงบวกกับผล หรือกล่าวได้ว่า เหตุและผลเปลี่ยนไปในทางเดียวกัน นั่นคือ หากเหตุเพิ่ม (มีสัญลักษณ์ลูกศรชี้ขึ้น ↑ ที่ตัวแปร) ผลจะเพิ่ม (มีสัญลักษณ์ลูกศรชี้ขึ้น ↑ ที่ตัวแปร) ด้วย หรือ หากเหตุลด (มีสัญลักษณ์ลูกศรชี้ลง ↓ ที่ตัวแปร) ผลจะลด (มีสัญลักษณ์ลูกศรชี้ลง ↓ ที่ตัวแปร) ด้วย

“เส้นประ” (— — — →) หมายถึง เหตุสัมพันธ์เชิงลบกับผล หรือกล่าวได้ว่า เหตุและผลเปลี่ยนไปในทางที่สวนกัน นั่นคือ หากเหตุเพิ่ม (มีสัญลักษณ์ลูกศรชี้ขึ้น ↑ ที่ตัวแปร) ผลจะลด (มีสัญลักษณ์ลูกศรชี้ลง ↓ ที่ตัวแปร) หรือ หากเหตุลด (มีสัญลักษณ์ลูกศรชี้ลง ↓ ที่ตัวแปร) ผลจะเพิ่ม (มีสัญลักษณ์ลูกศรชี้ขึ้น ↑ ที่ตัวแปร)

ตัวอย่างปัญหาวิจัย “การปลูกกล้วยในสวนยางสามารถป้องกันไฟไหม้สวนยางได้” [15] เมื่อวิเคราะห์เหตุและผลที่สัมพันธ์กันตามแนวคิดของการคิดเชิงระบบ สามารถเขียนเป็นแผนผังเหตุ-ผล ได้ดังภาพที่ 1 ซึ่งอธิบายส่วนหนึ่งของแผนผังตาม [16] ได้ว่า “สวนที่มีการปลูกกล้วยทำให้มีใบก้างปกคลุมและใบกล้วยเป็นวัตถุที่บดแสงจึงเกิดร่มเงา พื้นดินในบริเวณที่มีร่มเงาของใบกล้วยย่อมเย็นกว่าบริเวณที่ไม่มีร่มเงาของใบกล้วย เนื่องจากน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอเพราะพลังงานความร้อน ร่มเงาใบกล้วยจึงป้องกันไม่ให้ความร้อนจากแดดระเหยน้ำออกจากดินได้ง่าย นอกจากนี้ในช่วงกลางคืนที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง เมื่ออุณหภูมิลดลงไอน้ำในอากาศย่อมกลั่นตัวเป็นน้ำค้างได้มากขึ้น ด้วยเหตุนี้ดินในสวนที่มีการปลูกกล้วยจึงชื้นกว่าบริเวณอื่นซึ่งสามารถป้องกันการเกิดไฟไหม้จากความแห้งแล้งได้” และอธิบายอีกส่วนหนึ่งโดยคณะผู้วิจัยได้ว่า “พื้นดินที่มีความหนาแน่นดินมาก อาจทำให้การระเหยน้ำจากดินเป็นไปได้ยาก ดินในสวนจึงมีความชื้นดินมากเช่นกัน” ดังนั้น ทำให้สามารถสร้างสมมติฐาน

หนึ่งซึ่งเป็นสมมติฐานหลักจากคำอธิบายแผนผังเหตุ-ผลส่วนแรกได้ว่า “การปลูกกล้วยสามารถเพิ่มความชื้นในดินได้” [15] จากนั้นผู้ทำวิจัยสามารถนำสมมติฐานการวิจัยที่ได้ไปออกแบบการวิจัย และทำการทดลองเพื่อหาคำตอบให้กับสมมติฐานการวิจัยนี้ต่อไป อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าในแผนผังเหตุ-ผลข้างต้น สามารถสร้างสมมติฐานได้หลายข้อ เช่น “การเกิดร่มเงาสามารถลดการระเหยน้ำจากดินได้” หรือ “การเพิ่มขึ้นของการกลั่นตัวของน้ำในเวลากลางคืนสามารถเพิ่มความชื้นในดินได้” ประเด็นย่อยเหล่านี้จะถือเป็นสมมติฐานย่อย ๆ ซึ่งหากผู้ทำวิจัยสนใจสามารถพิสูจน์ได้ด้วยกระบวนการวิจัย



ภาพที่ 1 ตัวอย่างแผนผังเหตุ-ผล

จากภาพที่ 1 แผนผังนี้ซึ่งมีลักษณะเป็นกราฟแบบมีทิศทาง โดยที่โหนดที่มีแต่ทางลูกศรออก เรียกว่า “ตัวแปรต้น” (การปลูกกล้วย ความหนาแน่นดิน) ส่วนโหนดที่มีแต่หัวลูกศรเข้า เรียกว่า “ตัวแปรตาม” (ความชื้นดิน) และโหนดที่มีทั้งลูกศรเข้าและออก (เหตุและผล) คือ คำอธิบายระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม สำหรับตัวแปรควบคุม คือ ตัวแปรต้นที่ยังไม่สนใจที่จะศึกษาซึ่งจะถูกกำหนดให้มีค่าคงที่ ตัวอย่างเช่น ถ้าเลือกตัวแปรต้น คือ การปลูกกล้วย แล้วให้ควบคุมความหนาแน่นดิน อย่างไรก็ตาม สามารถอธิบายตามแนวคิดของการคิดเชิงระบบได้ว่า เช่น “เหตุ 1 (การปลูกกล้วย)” มี 2 เส้นทางที่ส่งไปถึง “ผล 7 (ความชื้นดิน)” ที่ปลายทาง โดยระหว่างนั้นมีทั้งเหตุและผลอยู่ด้วยกันตั้งแต่ 3 ถึง 6 โดยเส้นทางที่หนึ่งผ่านความเป็นเหตุและผล 3 4 และ 5 ด้วยเส้นที่ 2 เส้น (เส้นที่ 1 และ 3) และเส้นที่ 2 เส้น (เส้นที่ 2 และ 5) ส่วนเส้นทางที่สองผ่านความเป็นเหตุและผล 3 4 และ 6 ด้วยเส้นที่ 2 เส้น (เส้นที่ 1 และ 6) และเส้นที่ 2 เส้น (เส้นที่ 2 และ 4) และพบว่า ทั้งสองเส้นทางที่มีเส้นประสองเส้นซึ่งเป็นจำนวนคู่ การเพิ่มของเหตุต้นทาง (เหตุ 1 ลูกศรชี้ขึ้น) จึงทำให้ผลปลายทางเพิ่มขึ้น (ผล 7 ลูกศรชี้ขึ้น) ด้วย

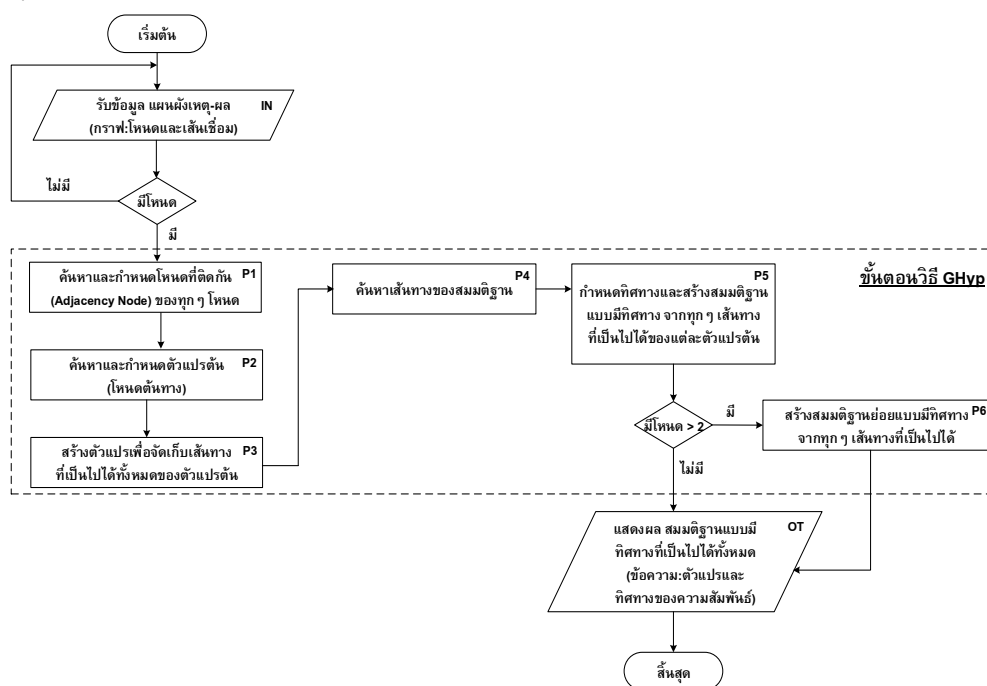
## 2. รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

ในขั้นตอนนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษา ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง และได้จากการสังเกตกระบวนการเรียนรู้ของผู้เรียนจากการลงพื้นที่ที่ตรวจเยี่ยม ติดตาม นิเทศงาน และเป็นผู้ทรงคุณวุฒิวิพากษ์ผลงานของโรงเรียนที่เข้าร่วมโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา [17] ศูนย์พี่เลี้ยงโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา : ศูนย์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ตลอดระยะเวลาการเป็นพี่เลี้ยงให้กับโรงเรียนดังกล่าวตั้งแต่ปี 2556 จนกระทั่งปัจจุบัน (มากกว่า 5 ปี) ทั้งนี้โครงการเพาะพันธุ์ปัญญาได้นำแนวคิดการเรียนรู้ด้วยวิจัยเป็นฐาน (Research-Based Learning: RBL) ซึ่งเป็นหนึ่งในการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติ ด้วยการศึกษา ค้นคว้า ฝึกปฏิบัติ ฝึกทักษะ จนถึงการเรียนรู้ด้วยตนเอง [18] มาใช้เพื่อปฏิรูปวิธีการจัดการเรียนรู้ ด้วยเชื่อว่าการเรียนรู้แบบ RBL ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ด้วยการค้นคว้า จนเกิดการค้นพบองค์ความรู้ด้วยตนเอง จากการศึกษาข้างต้นสอดคล้องกับ

ผลการวิจัย [19] ที่ได้สรุปประเด็นที่น่าสนใจ คือ นักเรียนที่ผ่านการทำโครงงานฐานวิจัยไปแล้วหนึ่งปี แต่ยังไม่เกิดความแตกฉานเท่าที่ควร จำเป็นจะต้องได้รับการส่งเสริมและพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะการคิดเชิงระบบ นอกจากนี้ จากการศึกษางานวิจัย [20] ซึ่งได้นำเสนอการสังเคราะห์โมเดลการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมกระบวนการคิดเชิงระบบให้กับผู้เรียนในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน โดยมีขั้นตอนที่สำคัญคือ การประเมินกระบวนการคิดเลือกแหล่งทรัพยากรที่เหมาะสม การสื่อสารกระบวนการคิด การทบทวนการสอน การวิเคราะห์ผู้เรียนและบริบท และการเขียนวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ตามลำดับ และได้ให้ข้อเสนอแนะข้อหนึ่งที่ว่า ควรมีการศึกษาเพื่อสร้างเครื่องมือวัดหรือแบบประเมินกระบวนการคิดเชิงระบบ ซึ่งจากการศึกษาคณะผู้วิจัยพบว่ยังไม่ม้เครื่องมือดังกล่าวให้ได้ใช้ ทำให้คณะผู้วิจัยมีความสนใจและมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องมือสนับสนุนการคิดเชิงระบบนี้ขึ้น

### 3. วิเคราะห์และออกแบบขั้นตอนวิธี GHyp

จากการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงออกแบบกระบวนการทำงานของขั้นตอนวิธี แสดงเป็นแผนภาพผังงาน ซึ่งประกอบด้วย 1 ข้อมูลนำเข้า (Input) 1 ข้อมูลส่งออก (Output) และ 6 กระบวนการ (Process) ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนภาพผังงาน

จากภาพที่ 2 เริ่มต้นเมื่อผู้ทำวิจัยมีโจทย์วิจัยที่สนใจแล้ว ผู้ทำวิจัยจะต้องวิเคราะห์โจทย์วิจัยเพื่อคิดความสัมพันธ์ของเหตุและผลต่าง ๆ ที่มีผลต่อโจทย์วิจัยในภาพรวม จากนั้นเลือกเฉพาะเหตุและผลที่เกี่ยวข้องและมีความสำคัญ และเขียนแผนผังเหตุ-ผลในรูปแบบกราฟแบบมีทิศทางตามแนวคิดการคิดเชิงระบบ เพื่อจำลองสถานการณ์กระบวนการคิดของการวิจัยให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น กราฟนี้จะถูกใช้เป็นข้อมูลนำเข้า (IN) สำหรับ 6 กระบวนการทำงานของขั้นตอนวิธี GHyp หากแผนผังเหตุ-ผลที่รับมามีโหนด ที่ P1 จะทำการค้นหาและกำหนดโหนดที่ติดกัน (โหนดที่เป็นผล) ของทุก ๆ โหนด (โหนดที่เป็นเหตุ) ที่มีในกราฟแบบมีทิศทาง ตัวอย่างเช่น จากภาพที่ 1 ข้างต้น โหนดอุณหภูมิดิน มีโหนดที่ติดกันคือ การระเหยน้ำจากดิน และน้ำกลั่นตัวกลางคืน ขึ้นถัดมาที่ P2 จะทำการค้นหาและกำหนดตัวแปรต้น ตัวอย่างเช่น จากภาพที่ 1 ข้างต้น ผลลัพธ์ที่ได้จาก P2 คือ โหนด “การปลุกกล้วย” และ “ความหนาแน่นดิน” ต่อมาที่ P3 จะทำการสร้างตัวแปรอาร์เรย์ขึ้นมาเพื่อจัดเก็บเส้นทาง

ที่เป็นไปได้ทั้งหมดของแต่ละตัวแปรต้น ผลลัพธ์ที่ได้จาก P3 จะเป็นตัวแปรที่ถูกนำไปใช้ใน P4 ต่อไป ที่ P4 เป็นการค้นหาเส้นทางของสมมติฐานทั้งหมดของแต่ละตัวแปรต้นด้วยเทคนิค DFS โดยใช้ผลลัพธ์ที่ได้จาก P1 และ P2 และเก็บเส้นทางทั้งหมดไว้ที่ผลลัพธ์ที่ได้จาก P3 เมื่อได้เส้นทางเหล่านั้นแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จาก P4 คือ เส้นทางของสมมติฐานทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่เริ่มต้นค้นหาจากโหนดต้นทางแต่ละโหนด

จากนั้น ที่ P5 เป็นการกำหนดทิศทางให้กับตัวแปรต้นของสมมติฐานหลักที่จะถูกสร้างขึ้น วิธีการคือจะแสดงเฉพาะโหนดต้นทางของทุก ๆ เส้นทางที่ค้นหาได้ เพื่อให้ผู้ทำวิจัยระบุทิศทางของลูกศร (ขึ้นหรือลง) ให้กับโหนดต้นทางนั้น ๆ ก่อน เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการสร้างสมมติฐานแบบมีทิศทาง จึงสำคัญที่ต้องกำหนดทิศทางเริ่มต้นให้กับโหนดต้นทาง ตัวอย่างเช่น จากภาพที่ 1 ข้างต้น โหนดต้นทาง “การปลุกกล้วย” จะถูกระบุทิศทาง (ลูกศรขึ้นหรือลง) ส่วนโหนดอื่น ๆ ในแผนผัง จะถูกกำหนดโดยอัตโนมัติตามประเภทของเส้นเชื่อมโยงตามหลักการในหัวข้อ 1. ดังกล่าวข้างต้น สำหรับตัวแปรควบคุม (ถ้ามี) ที่ผู้ทำวิจัยต้องระบุไว้ก่อนการสร้างสมมติฐานจะไม่ถูกนำมาสร้างสมมติฐานด้วย (ถือว่าเป็นค่าคงที่) จากนั้นจะทำการสร้างสมมติฐานแบบมีทิศทางโดยการแปลงเส้นทางจากโหนดต้นทางแต่ละโหนดที่ถูกระบุทิศทางไว้แล้วให้เป็นสมมติฐานการวิจัยแบบมีทิศทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด ผลลัพธ์ที่ได้จาก P5 คือ สมมติฐานแบบมีทิศทางจากทุก ๆ เส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดของโหนดต้นทางแต่ละโหนด และขั้นตอนสุดท้ายที่ P6 เป็นการสร้างสมมติฐานย่อยแบบมีทิศทางของแต่ละเส้นทางที่ได้จาก P5 ซึ่งจะเข้าสู่กระบวนการนี้ ถ้าเส้นทางนั้นมีโหนดมากกว่า 2 โหนด (ตั้งแต่ 3 โหนดขึ้นไป) ผลลัพธ์ที่ได้จาก P6 คือ สมมติฐานย่อยแบบมีทิศทางจากทุก ๆ เส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดของโหนดต้นทางแต่ละโหนดที่เส้นทางนั้น ๆ มีโหนดมากกว่า 2 โหนด

หลังจากผ่านกระบวนการทั้ง 6 กระบวนการ (P1-P6) ของขั้นตอนวิธี GHyp แล้ว จะเป็นการแสดงผลสมมติฐานแบบมีทิศทางที่ได้ทั้งหมดในรูปแบบข้อความสั้น ๆ ด้วยการระบุตัวแปรต้นและตัวแปรตาม พร้อมทั้งทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสอง ซึ่งถือเป็นข้อมูลส่งออก (OT) ที่ได้ และเป็นการสิ้นสุดการทำงาน ตัวอย่างเช่น จากภาพที่ 1 ข้างต้น หนึ่งในสมมติฐานแบบมีทิศทางที่ได้ คือ “การปลุกกล้วย มาก ความชื้นดิน มาก” โดยลูกศรชี้ขึ้นจะถูกแปลเป็นคำว่า “มาก” และลูกศรชี้ลงจะถูกแปลเป็นคำว่า “น้อย” (ถ้ามี)

#### 4. พัฒนาและทดสอบขั้นตอนวิธี GHyp

ในขั้นตอนนี้ จะอธิบายถึงกระบวนการพัฒนาและการทดสอบขั้นตอนวิธี GHyp ดังรายละเอียดต่อไปนี้

(1) การพัฒนาขั้นตอนวิธี GHyp ในที่นี้จะอธิบาย GHyp ใน 3 ส่วนหลัก รายละเอียดของการพัฒนามีดังนี้ ส่วนแรก การค้นหาเส้นทางของสมมติฐาน (P4 ในภาพที่ 2) สามารถอธิบายด้วยรหัสเทียม (Pseudo Code) แสดงได้ดังตารางที่ 1 เป็นส่วนที่มีการใช้ทฤษฎีต้นไม้และกราฟ และเทคนิค DFS มาช่วยในการค้นหาเส้นทางเพื่อสร้างสมมติฐานสำหรับแต่ละตัวแปรต้น ซึ่งมีลำดับการทำงานดังนี้ 1) สร้างตัวแปร ชื่อ Stack (โครงสร้างข้อมูลแบบสแต็ก) สำหรับเก็บโหนดที่ท่องไปถึงตามเส้นทาง (Path) ที่เป็นไปได้ทั้งหมดด้วยเทคนิค DFS 2) กำหนดค่าสีให้กับตัวแปรชื่อ Color โดยเริ่มต้นโหนดทุกตัวในแผนผังเป็น White เพื่อบ่งบอกว่ายังไม่มีทางท่องไปยังโหนดตัวนั้นในกราฟ 3) กำหนดค่าสีให้กับตัวแปรชื่อ Color ของโหนดที่ส่งมาเป็น Gray เพื่อบ่งบอกว่ามีการท่องไปยังตัวแปรนั้นแล้วและทำการเก็บ (Push) โหนด ลงในตัวแปรชื่อ Stack และ 4) ทำซ้ำ (While) เพื่อท่องไปในกราฟด้วยเทคนิค DFS ดังนี้

- ตรวจสอบว่าในตัวแปรชื่อ Stack มีข้อมูลหรือไม่ ถ้าไม่มีจะหยุดการทำงาน
- ถ้ามีข้อมูลในตัวแปรชื่อ Stack จะดึงข้อมูลของโหนดบนสุด (Top of Stack) ในตัวแปรชื่อ Stack ขึ้นมาแล้วค้นหาว่ามีโหนดที่ติดกัน (Adjacency Node) กับโหนดบนสุดนั้นหรือไม่

## ตารางที่ 1 รหัสเทียมส่วนการค้นหาเส้นทางของสมมติฐานด้วยเทคนิค DFS

---

```
GHyp_DFS(node) {
  While (!Stack.isEmpty) {
    f_node ← Stack.top()
    Choose v ∈ adj(f_node) and color[v] is white
    If (v exist) {
      color[v] ← gray
      Stack.push(v)
      count ← 0
      checkDuplicate ← false
      For each (data in dataHyp) {
        If (data length = Stack length) {
          For each (node in data)
            If (Stack[node] = node)
              count ← count + 1 }
        If (count = data length)
          checkDuplicate ← true
          count ← 0
      } // End For
      if (!checkDuplicate)
        dataHyp.push(Stack)
      tmp ← an empty array
      For each (data in dataHyp) {
        For each (node in data) {
          If (node.connections length != 0)
            nodeEnd ← get node.connections[0]
            if (nodeEnd.connections = 0) {
              For each (node in data)
                tmp.push(node)
                tmp.push(tmp)
                dataHyp.push(tmp) }
          } // End For
        } // End For
      } else {
        f_node ← Stack.pop()
        color[v] ← black
      } // End else
    } // End While
  } // End GHyp_DFS
```

---

- ถ้าโหนดบนสุดที่ดึงขึ้นมา มีโหนดที่ติดกัน จะทำการเก็บ (Push) โหนดที่ติดกันนั้นลงในตัวแปรชื่อ Stack และกำหนดค่า Color ของโหนดที่ติดกันนั้นให้เป็น Gray รวมถึงมีการเก็บข้อมูลในตัวแปรชื่อ Stack ทั้งหมดลงใน



ตัวแปรชื่อ dataHyp โดยจะไม่มีเก็บข้อมูล Stack ที่ซ้ำกัน และมีการตรวจสอบเมื่อทอ้งไปถึงโหนดสุดท้ายที่แล้วซึ่งไม่มีการเก็บข้อมูลโหนดลงในตัวแปรชื่อ Stack แต่จะทำการเก็บข้อมูลลงในตัวแปร dataHyp

- หากโหนดบนสุดที่ดึงขึ้นมาไม่มีโหนดที่ติดกันจะทำการลบ (Pop) ข้อมูลในตัวแปร Stack ออก และกำหนดค่า Color ของโหนดเป็น Black เพื่อเป็นการบ่งบอกว่าจะไม่มีการทอ้งมาที่ตัวแปรนี้อีกต่อไป

ส่วนที่สอง การกำหนดทิศทางและสร้างสมมติฐาน (หลัก) แบบมีทิศทางของแต่ละตัวแปรต้นที่สนใจ (P5 ในภาพที่ 2) จะนำหลักการของตัวแปรและสมมติฐาน และการคิดเชิงระบบมาใช้ เมื่อได้เส้นทางต่าง ๆ ที่ถูกเก็บไว้ใน dataHyp จากส่วนแรกแล้ว ต่อไปจะทำการสร้างสมมติฐานตามลำดับการทำงาน สามารถอธิบายด้วยรหัสเทียมดังตารางที่ 2 สำหรับกระบวนการในการสร้างสมมติฐานหลัก จะทำการตรวจสอบทิศทางของตัวแปรต้นที่ถูกกำหนดโดยผู้ทำวิจัยและชนิดเส้นเชื่อมแต่ละเส้นทางในกราฟ ด้วยเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- ถ้าตัวแปรต้น (เหตุ) มีทิศทางขึ้น (ลูกศรชี้ขึ้น) และเชื่อมโยงด้วยเส้นทึบกับตัวแปรตาม (ผล) แล้วตัวแปรตามจะมีทิศทางขึ้น (ลูกศรชี้ขึ้น) ด้วย

- ถ้าเหตุมีทิศทางขึ้นและเชื่อมโยงด้วยเส้นประกับผล แล้วผลจะมีทิศทางลง

- ถ้าเหตุมีทิศทางลงและเชื่อมโยงด้วยเส้นทึบกับผล แล้วผลจะมีทิศทางลง

- ถ้าเหตุมีทิศทางลงและเชื่อมโยงด้วยเส้นประกับผล แล้วผลจะมีทิศทางขึ้น

## ตารางที่ 2 รหัสเทียมส่วนการสร้างสมมติฐานหลักแบบมีทิศทาง

---

```
For each (data in dataHyp) {
  For each (node in data) {
    if (node[index].direct = up and not dashes) {
      aNode.direct ← up
      node[index + 1] = aNode;
    } else if (node[index].direct = up and dashes) {
      aNode.direct ← down
      node[index + 1] = aNode;
    } else if (node[index].direct = down and not dashes) {
      aNode.direct ← down
      node[index + 1] = aNode;
    } else {
      aNode.direct ← up
      node[index + 1] = aNode;
    } // End if
  } // End For
} // End For
```

---

ส่วนที่สาม การสร้างสมมติฐาน (ย่อย) แบบมีทิศทาง (P6 ในภาพที่ 2) เมื่อได้สมมติฐานหลักแบบมีทิศทางทั้งหมดจากทุก ๆ เส้นทางจากส่วนที่สองแล้ว จะทำการแยกสมมติฐานออกเป็นสมมติฐานย่อยแบบมีทิศทาง สามารถอธิบายด้วยรหัสเทียมดังตารางที่ 3 ซึ่งจะแยกเฉพาะเส้นทางที่มีโหนดมากกว่า 2 โหนด การแยกเส้นทางจะลบโหนดที่อยู่ด้านหน้า (Shift) แล้วทำการเก็บ (Push) ข้อมูลลงในตัวแปรชื่อ dataHyp

### ตารางที่ 3 รหัสเทียมส่วนการสร้างสมมติฐานย่อยแบบมีทิศทาง

```

For each (data in dataHyp) {
  if (data length > 2) {
    tmp ← an empty array
    For each (node in data) {
      tmp.push(node); }
    while (tmp length > 2) {
      tmp.shift();
      tmp2 ← an empty array
      For each (data in tmp) {
        tmp2.push(data) }
      dataHyp.push(tmp2)
    } // End if
  } // End For

```

(2) การทดสอบขั้นตอนวิธี GHyp เป็นการทดสอบแบบกล่องดำ (Black Box Testing) โดยคณะผู้วิจัยสำหรับตัวอย่างแผนผังเหตุ-ผล ที่นำมาใช้ในการทดสอบได้จากหนังสือ [15], [21] ในโครงการเพาะพันธุ์ปัญญาจำนวน 10 แผนผังเหตุ-ผล ทั้งนี้คณะผู้วิจัยเป็นผู้กำหนดตัวแปรต่าง ๆ ให้เป็นโหนด และความสัมพันธ์ระหว่างโหนดใด ๆ ให้เป็นเส้นเชื่อมโยงชนิดต่าง ๆ แล้วนำแต่ละแผนผังเหตุ-ผลที่สร้างไว้เป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อเข้าสู่กระบวนการของขั้นตอนวิธี GHyp ที่ถูกพัฒนาด้วยภาษาจาวาสคริปต์ (Java Script) ผลลัพธ์ที่คาดหวังคือ สามารถแสดงสมมติฐานหลักและสมมติฐานย่อยแบบมีทิศทางทั้งหมดที่เป็นไปได้ของแต่ละโหนดต้นทางได้อย่างถูกต้องตามขั้นตอนวิธี GHyp ที่นำเสนอ

#### 5. ประเมินคุณภาพของขั้นตอนวิธี GHyp

คณะผู้วิจัยประเมินคุณภาพของขั้นตอนวิธี GHyp ที่พัฒนาขึ้นนี้ โดยให้ผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นทั้งพี่เลี้ยงศูนย์พี่เลี้ยงโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา : ศูนย์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ร่วมโครงการมากกว่า 5 ปี และอาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ ที่มีประสบการณ์การสอนเฉลี่ยมากกว่า 8 ปี จำนวน 3 ท่าน พิจารณาแต่ละข้อคำถามว่าสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ นั่นคือ ขั้นตอนวิธี GHyp สร้างสมมติฐานแบบมีทิศทางที่มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับหลักการและแนวคิดการสร้างสมมติฐานทางด้านวิทยาศาสตร์หรือไม่ ด้วยค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item-Objective Congruence หรือ IOC) [22] โดยใช้เกณฑ์การประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ (R) ดังนี้

ระดับคะแนนเท่ากับ 1 หมายถึง แน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับวัตถุประสงค์

ระดับคะแนนเท่ากับ 0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับวัตถุประสงค์

ระดับคะแนนเท่ากับ -1 หมายถึง แน่ใจว่าข้อคำถามไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์

จากนั้นนำค่า R ที่ได้จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านมาคำนวณหาค่า IOC ในแต่ละข้อคำถาม

$$\text{โดยใช้สูตร คือ } IOC = \frac{\sum_{i=1}^N R}{N}$$

เมื่อ IOC

$$\sum_{i=1}^N R$$

N

หมายถึง ค่าความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์

หมายถึง ผลรวมของการประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ คนที่ i ถึง N

หมายถึง จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

สำหรับการพิจารณาความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ จากการคำนวณค่า IOC ในทุกข้อคำถามนั้นมีค่าเท่ากับ 1.00 เกณฑ์การตัดสินค่า IOC คือ ข้อคำถามที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.50 – 1.00 แปลผลได้ว่า ข้อคำถามนั้นสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ นั่นคือ ข้อคำถามนั้นใช้ได้ แต่ถ้าข้อคำถามที่มีค่า IOC น้อยกว่า 0.50 แปลผลได้ว่า ข้อคำถามนั้นไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ นั่นคือ ข้อคำถามนั้นต้องปรับปรุง ในงานวิจัยนี้ ข้อคำถามคือ สมมติฐานย่อย ถ้าสมมติฐานย่อยมีค่า IOC อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.50 – 1.00 แสดงว่า ขั้นตอนวิธี GHyp มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับหลักการและแนวคิดการสร้างสมมติฐานทางด้านวิทยาศาสตร์ นั่นคือ ขั้นตอนวิธี GHyp ใช้ได้ ในขณะที่สมมติฐานย่อยมีค่า IOC น้อยกว่า 0.50 แสดงว่า ขั้นตอนวิธี GHyp ไม่เหมาะสมและไม่สอดคล้องกับหลักการและแนวคิดการสร้างสมมติฐานทางด้านวิทยาศาสตร์ นั่นคือ ขั้นตอนวิธี GHyp ต้องปรับปรุง

## ผลการวิจัย

ผลการวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

(1) ผลการพัฒนาขั้นตอนวิธี GHyp จากผลการทดสอบ GHyp ด้วยการทดสอบแบบกล่องดำ สำหรับข้อมูลนำเข้า คือ 10 แผนผังเหตุ-ผล ดังที่ได้อธิบายรายละเอียดไว้ในหัวข้อ 4. พัฒนาและทดสอบขั้นตอนวิธี GHyp ข้อย่อย (2) ข้างต้น พบว่า ขั้นตอนวิธี GHyp สามารถแสดงสมมติฐานแบบมีทิศทางของทุก ๆ แผนผังเหตุ-ผล ได้ถูกต้องตามผลลัพธ์ที่คาดหวัง ตัวอย่างผลลัพธ์จากภาพที่ 1 ข้างต้น โดยมีตัวแปรควบคุม คือ โหนด “ความหนาแน่นดิน” สามารถสร้างสมมติฐานแบบมีทิศทางได้ทั้งหมด 17 สมมติฐาน แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวอย่างผลลัพธ์การแสดงผลสมมติฐานแบบมีทิศทางที่ผ่านขั้นตอนวิธี GHyp

สมมติฐานที่	ผลลัพธ์การแสดงผลในรูปแบบข้อความ	สมมติฐานหลัก/ย่อย
1	การปลุกกล้วย มาก ร่มเงา มาก	สมมติฐานย่อย
2	การปลุกกล้วย มาก อุณหภูมิดิน น้อย	สมมติฐานย่อย
3	การปลุกกล้วย มาก น้ำกลั่นตัวกลางคืน มาก	สมมติฐานย่อย
4	การปลุกกล้วย มาก ความชื้นดิน มาก	สมมติฐานหลัก
5	การปลุกกล้วย มาก การระเหยน้ำจากดิน น้อย	สมมติฐานย่อย
6	การปลุกกล้วย มาก ความชื้นดิน มาก	สมมติฐานหลัก
7	ร่มเงา มาก อุณหภูมิดิน น้อย	สมมติฐานย่อย
8	ร่มเงา มาก น้ำกลั่นตัวกลางคืน มาก	สมมติฐานย่อย
9	อุณหภูมิดิน น้อย น้ำกลั่นตัวกลางคืน มาก	สมมติฐานย่อย
10	ร่มเงา มาก ความชื้นดิน มาก	สมมติฐานย่อย
11	อุณหภูมิดิน น้อย ความชื้นดิน มาก	สมมติฐานย่อย
12	น้ำกลั่นตัวกลางคืน มาก ความชื้นดิน มาก	สมมติฐานย่อย
13	ร่มเงา มาก การระเหยน้ำจากดิน น้อย	สมมติฐานย่อย
14	อุณหภูมิดิน น้อย การระเหยน้ำจากดิน น้อย	สมมติฐานย่อย
15	ร่มเงา มาก ความชื้นดิน มาก	สมมติฐานย่อย
16	อุณหภูมิดิน น้อย ความชื้นดิน มาก	สมมติฐานย่อย
17	การระเหยน้ำจากดิน น้อย ความชื้นดิน มาก	สมมติฐานย่อย

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่าผลลัพธ์การแสดงผลสมมติฐานแบบมีทิศทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด 17 สมมติฐาน ประกอบด้วย 2 สมมติฐานหลัก และ 15 สมมติฐานย่อย โดยสมมติฐานหลัก คือ สมมติฐานที่ 4 และ 6 ซึ่งแสดงผล

ในรูปแบบข้อความเดียวกัน คือ “การปลูกกล้วย มาก ความชื้นดิน มาก” ทั้งนี้เกิดจากการมี 2 เส้นทาง จากเหตุ คือ “การปลูกกล้วย” ที่ส่งไปถึงผล คือ “ความชื้นดิน” ด้วยการผ่านเหตุและผลที่ต่างกัน ดังที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อขั้นตอนวิธี GHyp

ข้อคำถาม (สมมติฐาน ย่อย) ที่	คะแนนการประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ (R) คน ที่			$\sum_{i=1}^3 R$	ค่า IOC	แปลผล
	1	2	3			
1	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
2	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
3	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
4	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
5	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
6	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
7	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
8	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
9	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
10	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
11	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
12	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
13	-1	1	1	1	0.33	ปรับปรุง
14	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
15	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
16	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
17	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
18	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
19	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
20	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
21	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
22	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
23	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
24	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
25	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
26	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้

(2) ผลการประเมินคุณภาพของขั้นตอนวิธี GHyp ได้จากผลการวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ที่พิจารณาสมมติฐานย่อย จำนวน 26 สมมติฐาน ซึ่งได้จาก 1 ใน 10 แผนผังเหตุ-ผลทดสอบดังกล่าวข้างต้นโดยวิธีการสุ่มเลือก นั่นคือ ปัญหาวิจัย “ปัจจัยความสำเร็จของการทำนา” [21] ที่มีตัวแปรต้น ได้แก่ ระยะห่างการปักดำ น้ำ จำนวนต้น/การปักดำ และการผสมเกสร ตัวแปรตาม ได้แก่ ผลผลิตข้าว (กก./ไร่) และตัวแปรควบคุม ได้แก่ ชนิดปุ๋ย พันธุ์ข้าว ดิน เพลี้ย หอยเชอรี่ แสดงดังตารางที่ 5 ข้างต้น จะเห็นได้ว่า ผลจากการคำนวณค่า IOC มีเพียงรายการที่ 13 ที่ต้องปรับปรุง ทั้งนี้ผู้เชี่ยวชาญไม่ได้ให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในรายการนี้ ส่วนรายการที่เหลือใช้ได้ ผลการคำนวณค่า IOC ของการวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

ต่อขั้นตอนวิธี GHyp ในทุกข้อคำถาม มีค่าเท่ากับ 0.97 (25.33 หาดด้วย 26) ซึ่งอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.50 – 1.00 ดังนั้น สรุปได้ว่า ขั้นตอนวิธี GHyp ใช้ได้

## สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้พัฒนาขั้นตอนวิธีสำหรับการสร้างสมมติฐานการวิจัยแบบมีทิศทาง โดยใช้เทคนิคการค้นหาเส้นทางในแนวลึก หรือเรียกชื่อย่อว่า GHyp ที่ถูกพัฒนาด้วยภาษาจาวาสคริปต์ การพัฒนาขั้นตอนวิธี GHyp แบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนแรกคือการค้นหาเส้นทางของสมมติฐาน ซึ่งเป็นส่วนที่มีการใช้ทฤษฎีต้นไม้และกราฟและเทคนิค DFS มาช่วยในการค้นหาเส้นทางเพื่อสร้างสมมติฐานสำหรับแต่ละตัวแปรต้น ส่วนที่สองคือการกำหนดทิศทางและสร้างสมมติฐานหลักแบบมีทิศทางของแต่ละตัวแปรต้นที่สนใจ ซึ่งนำหลักการของตัวแปรและสมมติฐานและการคิดเชิงระบบมาใช้ และส่วนที่สามคือการสร้างสมมติฐานย่อยแบบมีทิศทางซึ่งใช้สมมติฐานหลักที่ได้จากส่วนที่สองมาแยกออกเป็นสมมติฐานย่อยที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยสมมติฐานแบบมีทิศทางจะถูกนำเสนอในรูปแบบข้อความสั้น ๆ ที่มีการระบุตัวแปรต้นและตัวแปรตาม พร้อมทั้งทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสอง ผลการทดสอบขั้นตอนวิธี GHyp ด้วยการทดสอบแบบกล่องดำ พบว่า ขั้นตอนวิธี GHyp สามารถแสดงสมมติฐานหลักและสมมติฐานย่อยแบบมีทิศทางทั้งหมดที่เป็นไปได้ของแต่ละโหนดต้นทางของทุก ๆ แผนผังเหตุ-ผลทดสอบได้อย่างถูกต้องตามขั้นตอนวิธี GHyp ที่นำเสนอ และผลการประเมินคุณภาพของ GHyp โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ด้วยค่า IOC พบว่า ค่า IOC ของการวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อขั้นตอนวิธี GHyp ในทุกรายการ มีค่าเท่ากับ 0.97 สรุปได้ว่า ขั้นตอนวิธี GHyp ใช้ได้ มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับหลักการและแนวคิดการสร้างสมมติฐานทางด้านวิทยาศาสตร์

ดังนั้น GHyp ที่นำเสนอนี้จึงเป็นการส่งเสริมและพัฒนาทักษะอย่างต่อเนื่องของการคิดเชิงระบบตามคำแนะนำของงานวิจัย [19] และเป็นต้นแบบของเครื่องมือที่สนับสนุนการประเมินกระบวนการคิดและการสื่อสารกระบวนการคิดได้ ดังคำแนะนำของงานวิจัย [20] ที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง นอกจากนี้ GHyp จะอำนวยความสะดวกในการสร้างสมมติฐานการวิจัยแบบมีทิศทางให้กับผู้เริ่มทำวิจัยหรือผู้ใช้ที่ต้องการพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบ การสร้างโจทย์วิจัย และการตั้งสมมติฐานงานวิจัยที่มีกรอบวิจัยที่ชัดเจน มีความแม่นยำ ถูกต้อง และสอดคล้องกับแผนผังเหตุ-ผลที่ได้สร้างไว้ อีกทั้งผู้ใช้สามารถนำสมมติฐานการวิจัยที่ได้ไปออกแบบการวิจัยและทำการทดลองเพื่อหาคำตอบให้กับสมมติฐานการวิจัยที่สนใจต่อไป อย่างไรก็ตาม จากผลการวิจัยพบว่า การสร้างแผนผังเหตุ-ผลด้วยตัวผู้ทำวิจัยเองมีความยุ่งยากและซับซ้อน หากโจทย์วิจัยนั้นมีตัวแปรและความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมาก และการแสดงผลสมมติฐานแบบมีทิศทางในรูปแบบข้อความนั้น อาจทำให้ผู้ทำวิจัยเกิดความสับสนได้ ดังตัวอย่างผลลัพธ์การแสดงผลสมมติฐานหลัก 2 สมมติฐานที่แสดงในตารางที่ 4 ข้างต้น ซึ่งถูกแสดงในรูปแบบข้อความเดียวกัน เพียงแต่เป็นเส้นทางที่แตกต่างกัน ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันเพื่อสร้างแผนผังเหตุ-ผล ที่สามารถรองรับตัวแปรและความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจำนวนมาก ๆ ได้ และนำขั้นตอนวิธี GHyp มาพัฒนาต่อในระบบให้สามารถนำเสนอได้ในรูปแบบกราฟิก มีการเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล เพื่อสะดวกต่อการสร้างแผนผังเหตุ-ผล การเรียกใช้งานและการแก้ไข และง่ายต่อการทำความเข้าใจสมมติฐานแบบมีทิศทางต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- [1] The Prince Royal's College. (2016). *Variables and Hypothesis*. Retrieved August 31, 2016, from <https://www.prc.ac.th/content.php?id=2>
- [2] Pattarasinee Bhattarakosol. (2018). *Let Tell the Story: Research with Heart*. 1st ed. Bangkok: Chulalongkorn University Press.
- [3] Tanawat Chamnansing. (2010). *Hypothesis of Research*. Retrieved August 31, 2016, from <https://www.gotoknow.org/posts/413956>
- [4] Piyanat Prayoon. (2005). *Systems Thinking*. 2nd ed. Bangkok: Learning and Empowerment for Healthy Community Project (LEHC).
- [5] Suteera Prasertsan. (2012). *Research – Based Project: New Learning Process of Thai Education*. 1st ed. Bangkok: The Thailand Research Fund (TRF).
- [6] Thawin Arunwet. (2017). *System Thinking*. Retrieved December 4, 2017, from <http://thawin09.blogspot.com/2017/06/system-thinking.html>
- [7] Pornphan Pumpu. (2015). *Systems Thinking*. Retrieved December 4, 2017, from <http://kmcenter.rid.go.th/kcfd/information/Dr%20Pornpan%20Present/Systems%20Thinking%201.doc>
- [8] Suteera Prasertsan. (2011). *Research, The Power to Change Learning: The Path of Cognitive Domain*. Chiangmai: Community-Based Research Institute Foundation.
- [9] Wattana Rattanaprom. (2017). *Research-Based Learning*. 1st ed. Songkhla: Numsin Printing.
- [10] Ruetairat Chidmongkol, & Somyot Chidmongkol. (2017, April-June). Systems Thinking: Teaching Experiences for Improving Systems Thinking. *Journal of Education Studies*, 45(2), 209-224.
- [11] Bussakorn Khechornphak; Sompong Srikunlaya, & Jiraporn Chano. (2015, July-December). The Development of Systems Thinking Model for Pre-service Teacher, Rajabhat Maha Sarakham University. *Journal of Education Rajabhat Maha Sarakham University*, 12(2), 50-67.
- [12] Sarawut Patcharachompu; Chairat Praneer, & Siriporn Panawong. (2017, January-June). A Development of Instructional Model to Enhance the System Thinking Ability for High Vocational Certificate Curriculum Students. *Journal of Graduate Studies in Northern Rajabhat Universities*, 7(12), 117-132.
- [13] Wilawan Phothong, & Montree Yamkasikorn. (2015, January-June). Systems Thinking: Operation part. *Journal of Research and Curriculum Development*, 5(1), 1-14.
- [14] Rosen, Kenneth H. (2012). *Discrete Mathematics and Its Applications*. 7th ed. New York: McGraw-Hill.
- [15] Suteera Prasertsan. et al. (2014). *The impress on the path of Pohpanpunya*. Bangkok: Wongsawang Publishing & Printing Co., Ltd.
- [16] Suteera Prasertsan. (2018). Writing is Thinking. In *The Workshop on The Project Development to be SEEEM and Writing is Thinking*. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University.

- [17] The Thailand Research Fund. (2014). *Pohpanpunya Project*. Retrieved October 10, 2016, from [http://www.trf.or.th/index.php?option=com\\_content&view=article&id=6708:2015-07-24-12-52-09&catid=333:2557&Itemid=433](http://www.trf.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=6708:2015-07-24-12-52-09&catid=333:2557&Itemid=433)
- [18] Yaowares Pakdeejit. (2014). *Active Learning with 21st Century Learning*. Retrieved October 3, 2016, from [apn.nsrut.ac.th/Act\\_learn/myfile/27022015155130\\_article.docx](http://apn.nsrut.ac.th/Act_learn/myfile/27022015155130_article.docx)
- [19] Supaporn Porntra, & Jittima Wattarach. (2014, July-December). The Effects of Research-Based Learning on Grade-11 Students' Desirable Characteristic Changing in Pohpanpunya Project. *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*, 5(2), 176-185.
- [20] Boonleang Thumthong, & Boonlord Srijarern. (2010, August). A Synthesis of a Learning Organization Model Encouraging the Systematic Thinking Process of Basic Education Level Learners. *KKU Research Journal*, 15(8), 778-786.
- [21] Suteera Prasertsan. (2018). *Pohpanpunya: Knowledge from Reason in Cause-Effect*. 1st ed. Bangkok: Aksorn Sampan Press (1987).
- [22] Pranee Lumbensa. (2016). Finding the Quality of Measurement and Evaluation Tools. In *Academic services Project*. Thasap Model.